

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт геологии и нефтегазовых технологий

Кафедра геологии нефти и газа

Н.Г. НУРГАЛИЕВА

**РАСПОЗНАВАНИЕ СТРОЕНИЯ И УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ
ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Учебно-методическое пособие
практических заданий для студентов и аспирантов, обучающихся по
направлениям 05.03.01, 05.04.01 «Геология», 21.03.01 «Нефтегазовое дело»,
05.06.01 «Науки о Земле»

КАЗАНЬ – 2017

*Печатается по решению учебно-методической комиссии
Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ
Протокол № 1 от 24 ноября 2016 г.*

Составитель:
Н. Г. Нургалиева

Рецензенты:
зав. кафедрой геологии нефти и газа, профессор, д.г.-м.н. Б. В. Успенский;
доцент кафедры геологии нефти и газа, к.г.-м.н. Р. А. Батырбаева

Распознавание строения и условий формирования осадочных комплексов: учебно-методическое пособие по выполнению практических заданий для студентов и аспирантов, обучающихся по направлениям 05.03.01, 05.04.01 «Геология», 21.03.01 «Нефтегазовое дело», 05.06.01 «Науки о Земле» по курсам «Геология и геохимия нефти и газа», «Секвенс-стратиграфия», «Анализ бассейнов осадконакопления», «Основы секвенс- и изотопной стратиграфии для изучения нефтегазоносных комплексов» / Н.Г. Нургалиева. – Казань: Казан. ун-т. – 2017. – 36 с.

Предназначено для выполнения практических заданий, направленных на изучение вопросов строения и генезиса природных резервуаров углеводородов по курсу «Геология и геохимия нефти и газа», а также для изучения строения осадочных комплексов и интерпретации условий их формирования по дисциплинам «Секвенс-стратиграфия», «Анализ бассейнов осадконакопления».

Оглавление

Введение	4
Практическая работа 1. Анализ палеогеографической и палеотектонической составляющих осадочного разреза.....	4
Практическая работа 2. Фациальный анализ осадочного разреза.....	12
Практическая работа 3. Анализ циклического строения осадочного разреза	18
Практическая работа 4. Секвенсы в сейсмической записи.....	26
Список рекомендуемой литературы	35

Введение

Настоящее пособие предлагает выполнение практических заданий, направленных на решение вопросов, связанных с освоением методик изучения строения осадочных комплексов и распознавания условий их формирования на основе палеогеографического (фациального), палеотектонического, циклического анализа, лежащих в основе концепции секвенс-стратиграфии.

Практическая работа 1.

Анализ палеогеографической и палеотектонической составляющих строения осадочного разреза.

Цель работы: построение палеогеографических и палеотектонических графиков, характеризующих формирование осадочного разреза.

Исходные данные: стратиграфические разрезы и типовые разрезы, сопровождаемые кратким описанием литологических типов пород, стратиграфической разбивкой и значениями толщин.

Методика выполнения работы:

После предварительного изучения разреза необходимо выбрать определенный стратиграфический комплекс, погружение которого в последующие отрезки геологического времени даст величину прогибания исследуемой территории. Как правило, за точку отсчета тектонического погружения принимается подошва наиболее древнего осадочного комплекса разреза.

Графики строятся в декартовой системе координат. На оси абсцисс (слева направо) откладываются в определенном масштабе длительности интервалов. На оси ординат (сверху вниз) откладываются толщины стратиграфических комплексов путем их последовательного суммирования. Точки пересечения кровли стратиграфических комплексов с соответствующими значениями их формирования соединяют отрезками. Следует иметь в виду, что в разрезе могут отсутствовать те или иные отложения из-за размыва или перерыва в

осадконакопления. В этом случае на графике это отразится отсутствием прогибания.

Построенный график показывает процесс погружения исследуемого стратиграфического комплекса пород в течение последующего времени, вплоть до современного. Через этот процесс погружения можно определить величину и скорость прогибания изучаемого участка земной коры.

Построение палеотектонических графиков по разным областям земной коры производится по-разному.

Построение графиков по разрезам платформенных областей производится без внесения поправок за изменение палеоглубин осадконакопления. Это обосновывается тем, что в платформенных условиях изменение палеоглубин невелико, и оно для больших интервалов времени статистически снимается из-за периодического характера осадконакопления.

Построение графиков прогибания по разрезам подвижных участков земной коры (глубоководные впадины, межгорные впадины), где проявляются процессы некомпенсации и перекомпенсации, осуществляется, как правило, с учетом поправки за изменение палеоглубин (батиметрической поправки).

Порядок построения таких графиков следующий:

1) сначала строится график величины прогибания без учета поправок за изменение палеоглубин способом, изложенным выше.

2) затем в тех же координатах и масштабах строится геоморфологический график, отражающий изменение глубин формирования того или иного стратиграфического комплекса. Определение палеоглубин для каждого из рассматриваемых комплексов пород осуществляется по петрографическим, минералогическим, палеонтологическим и другим косвенным признакам, которые приводятся в описании разреза.

Примерный перечень критериев палеоглубин (глубин относительно уровня моря) показан в таблицах 1-3.

Глубины формирования обломочных осадков показаны в таблице 1.

Таблица 1

Петрографические критерии (по данным Н.М.Страхова)

Тип осадка	Глубины формирования осадка (здесь и ниже знак "-" подчеркивает положение ниже уровня моря)
Грубообломочные (щебень, галька, гравий)	до -15 м
Среднеобломочные (пески)	до -50 м
Мелкообломочные (алевриты)	-(50-100) м
Тонкообломочные (глины)	Глубже -100 м
Илы радиоляриевые, диатомовые	-(3000-5000) м

Обломочные осадки могут формироваться в океане на значительных глубинах -(2000-3000 м) благодаря подводным течениям.

Таблица 2

Минералогические критерии глубин формирования осадков

Тип осадка	Глубины формирования осадка
Ил карбонатный (оолиты)	до -20 м
Ил карбонатный (пелитоморфные известняки)	-(200-250) м
Оолиты железистые, бокситовые, марганцевые	До -100 м
фосфориты	-(50-80) м
глаукониты	-(100-150) м

Таблица 3

Палеонтологические критерии формирования осадков

Фоссилии	Глубины формирования осадка
фораминиферы	-(150-200) м
Фузулиниды	До -60 м
Кораллы колониальные	До - 50 м
Водоросли известковые, мшанки	До -50 м
Водоросли известковые	До -20 м
Водоросли багряные	До -150 м

3) Для построения более точного графика прогибания (палеотектонического графика с батиметрической поправкой) необходимо

внести поправку в уже построенный график. Величина поправки для данного временного интервала определяется по геоморфологическому графику как разность палеоглубин на начало и конец формирования соответствующего стратиграфического комплекса. В случае углубления бассейна осадконакопления по сравнению с предыдущим этапом эта поправка прибавляется к толщине рассматриваемого стратиграфического комплекса, а в случае его обмеления - вычитается.

Пример выполнения задания.

Задание: Построить литолого-стратиграфическую колонку, палеотектонический и палеогеографический графики для исходных данных (таблица 4), построить палеогеографическую кривую для литолого-стратиграфической колонки, а также определить направление, величину и скорость движения дна бассейна в рассматриваемый интервал времени.

Таблица 4

Исходные данные для выполнения задания

Стратон	Длительность, млн лет	Литология	Толщина, м	Глубина формирования осадка
нижний мел	40	пески и песчаники с остатками ракушек	350	-50 м
верхний мел	30	известняки с остатками иноцерамов	300	-150 м
палеоцен	15	пески грубозернистые с галькой континентального происхождения	1500	100 м
эоцен	5	переслаивание глауконитовых глин с известняком	250	-150 м
олигоцен	5	известняки фораминиферовые	400	-150 м

Ход выполнения работы:

1) Построим литолого-стратиграфическую колонку разреза по данным таблицы 4 (см. рис.1).

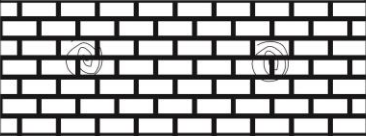

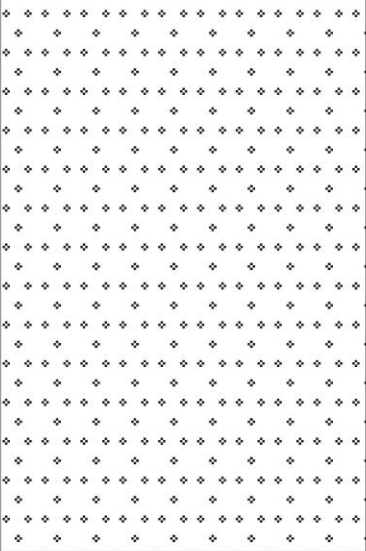
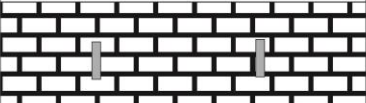
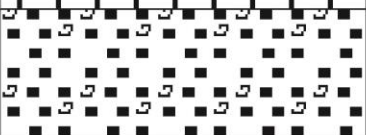
Стратиграфия (длительность, млн. лет)	Литология	Толщина, м	Краткое описание
Олигоцен (5)		400	известняки фораминиферовые
Эоцен (5)		250	переслаивание глауконитовых глин с известняком
Палеоцен (15)		1500	песчаники грубозернистые с галькой континентального происхождения
Верхний мел (30)		300	известняки с остатками иносермаов
Нижний мел (30)		350	пески и песчаники с остатками ракушек

Рис.1. Литолого-стратиграфическая колонка осадочного разреза по данным таблицы 4.

2) Подготовим таблицу (таблица 5) для построения графика прогибания (палеотектонического графика).

Таблица 5

Данные для построения палеотектонического графика

Время, млн лет	Накопление, м
0	0
40	-350
70	-650
85	-2150
90	-2400
95	-2800

Построим график (см. рис.2А) - это палеотектонический график.

3) Подготовим таблицу для построения палеогеографического графика (таблица 6)

Таблица 6

Данные для построения палеогеографического графика

Время, млн лет	Глубина формирования осадка, м
0	-50
40	-50
40	-150
70	-150
70	100
85	100
85	-150
90	-150
90	-150
95	-150

Построим график (см. рис.2Б) - это палеогеографический график.

3) Подготовим таблицу (таблица 7) для построения палеотектонического графика с батиметрической поправкой.

Таблица 7

Данные для построения палеотектонического графика
с батиметрической поправкой

Время, млн лет	Накопление, м	Н с батиметрической поправкой, м
0	0	0
40	-350	-350
70	-650	-750
85	-2150	-1900
90	-2400	-2650
95	-2800	-2800

Построим график прогибания с поправкой (см. рис.2В).

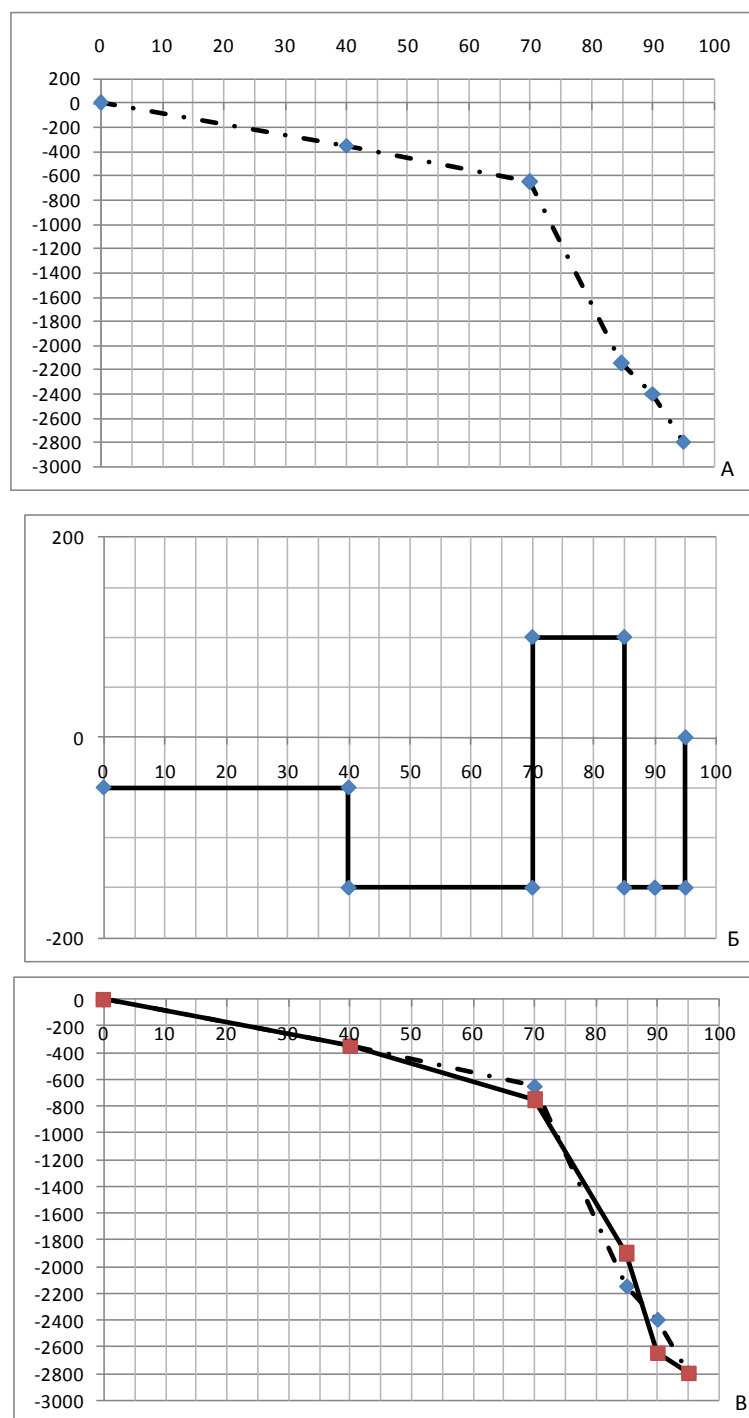


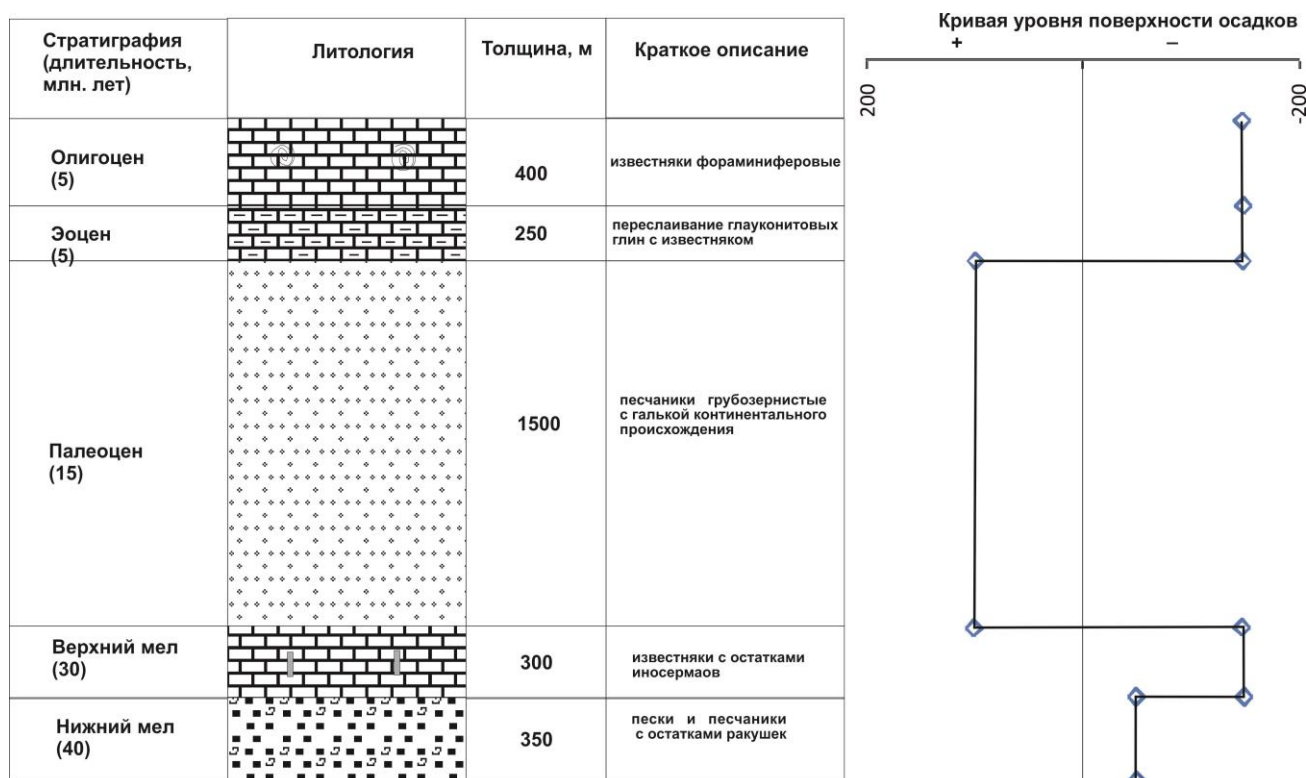
Рис.2: А - палеотектонический график, Б - палеогеографический график, В - палеотектонический график с батиметрической поправкой (сплошная линия) в сравнении с графиком из А. Ось абсцисс - время, млн. лет; ось ординат - накопленная толщина (глубина), м

Из рис.2В видно, направленность прогибания сохранялась.

Оценки по графикам:

1) величина прогибания в мелу составила 750 м, в палеогене - 2150 м;

2) скорости прогибания - в мелу $750/70=10,7$ м/млн.лет; в палеогене - $2150/25=86$ м/млн.лет. Заметим, что уровень поверхности осадка в палеоцене был выше уровня моря, то есть скорость поставки осадочного материала в это время была выше скорости прогибания земной коры - случай перекомпенсированного осадконакопления. Скорость прогибания земной коры в палеоцене составила $1150/15=76,7$ м/млн. лет, а скорость поставки осадочного материала $1500/15=100$ м/млн.лет.



Задание для самостоятельной работы

Таблица 8.

Исходные данные

Стратон	Длительность, тыс.лет	Литология	Толщина, м	Глубина формирования осадка
шешминский	800	песчаники с галькой	20	50
байтуганский	1000	спириферовые глины и известняки	25	-80
камышлинский	1200	глины, алевролиты, песчаники, оолитовые известняки	20	-20
барбашинский	1500	переслаивание песчаников, алевролитов, глин	50	-10
ядренный камень	500	известняки с брахиподами	10	-50

2. Построить литолого-стратиграфическую колонку, палеотектонический и палеогеографический графики, палеогеографическую кривую для литолого-стратиграфической колонки, а также определить направление, величину и скорость движения дна бассейна в рассматриваемый интервал времени на основе данных разрезов по материалам учебных и производственных практик.

Практическая работа 2.

Фациальный анализ осадочного разреза

Цель работы: изучение фациального ряда в пределах осадочного разреза (литолого-стратиграфической колонки).

Исходные данные: литолого-стратиграфическая колонка и данные для распознавания фаций.

Метод фациального анализа

Понятие *фация* в 19 веке (1838–41) ввел швейцарский ученый А. Грессли. Фация - этот участок любого слоя одновозрастных пород, отличающийся от соседних по петрографическому составу и ископаемым остаткам.

Разные исследователи вкладывали в это понятие свое представление и содержание. Среди них отмечают два крайних взгляда на определение фации.

В первом случае **фация** - это часть слоя со своими литологическими и палеонтологическими особенностями, которые называют фациальными признаками.

Во втором случае **фация** - это физико-географические условия, которые определяют неорганические и органические процессы на данном участке в данное время, т.е. фация - это единица ландшафта. Наиболее оптимальным представляется следующий подход к определению: **фация - это физико-географические условия или обстановки, отраженные в осадке.**

Фации геологического прошлого определяют по горным породам и ископаемым окаменелостям, содержащимся в них. Отсюда, метод восстановления палеогеографических обстановок называется фациальным анализом. В основе этого метода лежит **принцип актуализма**. Суть его по представлениям одного из его основоположников Ч. Лайеля заключается в том, что современные явления есть ключ к познанию таких же процессов в прошлые эпохи. Например, наблюдая деятельность современных вулканов, геологи могут восстановить картину древнего вулканизма. Но такой подход может привести и к ошибкам, если его применять механически, без учета эволюционных изменений происходивших в ходе длительного развития земной коры и её поверхности.

Поскольку основой для фациального анализа является изучение горных пород и ископаемых организмов, его подразделяют на биофациальный и литолого-фациальный.

Основой для проведения **биофациального анализа** служат ископаемые организмы и следы их жизнедеятельности. Отмечается, что основными условиями обитания организмов в море являются: соленость, температура, свет, газовый режим, глубина, движение воды или гидродинамика, состав грунта. Каждый из этих факторов отражается в морфологии организма (размеры раковины, её скульптура, толщина и т.п.), в многообразии видов, влияет на расселение организмов по площади водоёма.

Поэтому в биофациальном анализе по облику ископаемых остатков можно с определенной степенью достоверности определить многие из перечисленных условий обитания, а значит и палеогеографические условия на определенный период времени.

Биофациальный анализ начинают с определения характера захоронения ископаемых остатков. Они бывают двух типов:

Ископаемый биоценоз - захоронение на месте обитания самих организмов.

Танатоценоз - место захоронения удалено от места обитания.

Тип захоронения определяется по сохранности органических остатков, их ориентировке, сортировке и видовому комплексу. Признаками танатоценоза при переносе являются: разрушение скелетных элементов, сортировка особей по размеру и весу, ориентировка скелетных элементов и т.п.

Наиболее важен для биофациального анализа - ископаемый биоценоз, по которому восстанавливают условия обитания.

Литолого-фациальный анализ опирается на определение фаций по вещественному составу и по структурным и текстурным признакам пород.

Вещественный состав осадочных пород дает информацию о составе источника обломочного материала (определяется по составу обломков в породе), о среде формирования (биогенные или хемогенные осадки), климатических условиях (угленакопление или коры выветривания) и т.д.

Структура осадочных пород наиболее разнообразна и информативна у обломочных пород. Информацию об условиях образования таких пород содержат как обломки, так и цементирующий материал. Обломки различаются по: размеру, составу, сортировке, форме, степени окатанности.

Размер обломков позволяет судить о степени удаленности обломочного материала от источника. (крупные - ближе к источнику сноса, мелкие более удалены).

Состав обломочного материала позволяет судить как о составе исходного источника разрушения, так и о длительности процесса переноса. Если в

обломках сохранились неустойчивые к разрушению минералы - это говорит о близком источнике сноса и о коротком промежутке времени переноса. И наоборот, наличие в обломках только устойчивых минералов свидетельствует о длительном переносе.

Минеральный состав может также указывать на среду и климат при осадконакоплении. Существуют минералы-индикаторы среды и климата. Так индикаторами морской среды и определенных интервалов глубин являются минералы - глауконит, железо-марганцевые конкреции, фосфорит и т.д. Индикаторами климатов являются соль и гипс, торф и уголь, гидроокислы Fe и Al и т.д.

Сортировка обломочного материала отражает соотношение обломков по размеру. Сортировка является индикатором длительности переноса. Отсутствие сортировки, т.е. присутствие обломков разного размера - признак быстрых перемещений на небольшие расстояния. Это характерно для образования морен, осыпей, глубоководных брекчий.

Форма обломков зависит от состава исходной породы и формы переноса обломков. Например, морская галька от речной отличается уплощенной формой.

Степень окатанности - зависит от состава пород, от скорости и длительности переноса обломков и др. По расположению обломков и их ориентировке в породе можно судить о направлении движения обломочного материала. Так устанавливают направления русел древних рек, береговую линию моря.

Цементирующая обломки масса несет информацию о среде отложения обломков. Небольшой её объем в породе указывает на подвижную среду, а его возрастание - на спокойную обстановку водных бассейнов.

Текстура – взаимное расположение фрагментов породы, их ориентировка относительно друг друга, поверхности напластования и породы в целом. Текстура – преимущественно макроскопический признак. Возникают текстуры во время осадконакопления (первичные, седиментационные), на стадии

диагенеза и последующих изменений (вторичные, диагенетические и катагенетические).

К числу первичных текстур, возникающих на самых ранних стадиях образования осадочных горных пород, относятся все явления слоистости. Слоистость всегда отражает гидродинамику среды переноса и осаждения.

Чаще всего наблюдается чередование слоев двух типов, один из которых характеризуется большей толщиной и является основным.

Фации принято подразделять по физико-географическим условиям на морские, переходные и континентальные.

В таблице 9 показан пример наборов критериев, по которым можно различать обстановки осадконакопления или фации.

Таблица 9

Критерии фаций

Группы фаций	Фации	Критерии реконструкции
Континентальные	Речные	<p>Врезанный несогласный характер по отношению к более древним вмещающим образованиям.</p> <p>Вытянутая лентовидная форма выходов.</p> <p>Резкие боковые границы.</p> <p>Циклическое строение вертикального разреза с уменьшением крупности зерна вверх.</p> <p>Симметричное положение гранулометрических типов отложений относительно центральной части.</p> <p>Доминирующие текстуры: косая слоистость диагонального типа, различные типы ряби течений, грубозернистые породы представлены гравием и галечником округлой формы.</p> <p>Глауконит редок.</p> <p>Плохая сортировка и меньшая степень зрелости минеральных зерен.</p> <p>Редкие остатки пресноводной фауны.</p> <p>Мощность от 1 до десятков метров при ширине от десятков метров до десятков километров.</p> <p>Ассоциация с пластами торфов и углей.</p>

Группы фаций	Фации	Критерии реконструкции
	Озерные	Большая протяженность и выдержанность по простиранию осадков в замкнутом контуре. В разрезе вид выпуклой к низу линзы. РО. Пресноводная фауна: моллюски, гастроподы, остракоды, губки, рыбы. Глинистый материал, в восстановительных условиях сидерит, пирит, вивианит.
	Ледниковые	Грубообломочные и неотсортированные моренные образования, глыбы, валуны, имеющие штриховку, флювиогляциальные, зандровые отложения.
	Эоловые	Барханы, дюны и связанные с ними признаки: хорошая окатанность и сортировка, ассоциация с эваопритами, слюд мало, косая слоистость, несогласное залегание, отсутствие углей и морских беспозвоночных.
	Коры выветривания	Латеритный профиль мощностью 25-50 м: гиббсит-железистая ассоциация с преобладание железистой компоненты – гиббсит, железистый гиббсит – каолинит, гиббсит – гидрослюды, монтмориллонит, гидрослюд-гидрохлоритовая ассоциация.
Морские		Смена фаций, хорошая окатанность и сортировка зерен, палеонтологический и палинологический критерии, оолиты и пизолиты, следы штормов (галька, заполнение эрозионных карманов), симметричные знаки ряби, рифовые постройки, геохимические соотношения, например. соотношение Ba/Sr.
Переходные	Дельты	Уменьшение размерности обломков и зерен в сторону моря. Косая слоистость смешанного, потокового и прибрежно-морского типов. Морские и солоноватоводные организмы. Наличие глауконита. Ассоциация с угленосными образованиями в гумидных и обилие тонких карбонатных прослоев в аридных зонах.
	Эстуарии	Морская фауна, количество которой сокращается в сторону суши. Бимодальная косая слоистость. Фациальное замещение: пески- илистые отложения – аллювий.
	Лагуны	Угнетенный характер фауны. Наличие РО. Тонкая горизонтальная слоистость. Трещины усыхания. Знаки ряби. В аридной зоне РО ограничены.

Пример выполнения задания на основе литолого-стратиграфической колонки и фациальных данных показан на рис. 4 по данным таблицы 4 и рис.3.

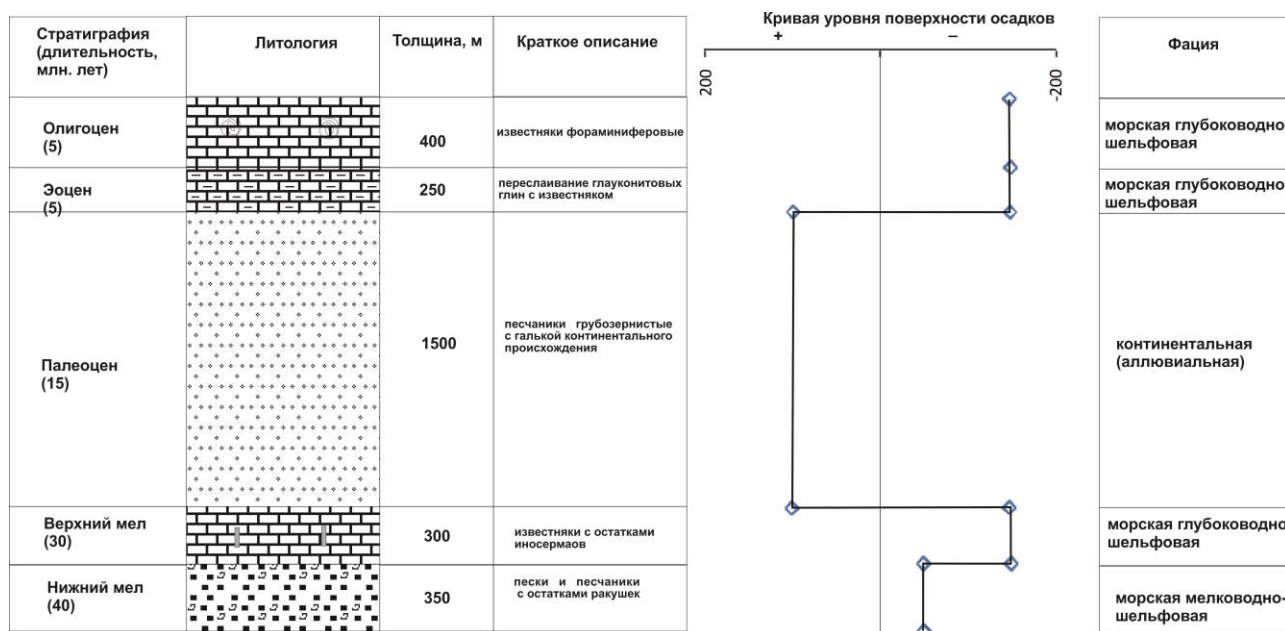


Рис.4. Литолого-стратиграфическая колонка, палеогеографическая кривая и фациальная интерпретация осадочного разреза по данным таблицы 3 и рис.3.

Задание для самостоятельной работы

Предложить фациальную интерпретацию осадочных разрезов (согласно примеру на рис.4 и таблице 9) по литолого-стратиграфическим колонкам, построенным в результате выполнения задания в практической работе N1.

Практическая работа 3.

Анализ циклического строения осадочного разреза

Цель работы: выяснение цикличности строения осадочных разрезов.

Исходные данные: литолого-стратиграфические колонки с палеогеографической и фациальной интерпретацией; каротажные диаграммы (ГК или ПС).

Метод циклического анализа.

Цикл – основное понятие в теории циклической седиментации. Цикл – это единичная последовательность элементов, представляющих собой ступени,

этапы, стадии какого-либо развивающегося процесса. Вещественное проявление цикла называется цикломой. Вещественное проявление цикла в осадочной сфере называется циклосомой или циклотемой.

Ритмит – это литома (циклосома), для которой доказана регулярность, равномерность образования во времени.

От терминов цикличности образовано довольно много производных терминов: циклиты С.Л.Афанасьева (1974); ре-, про-, репро-, прорециклиты Ю.Н.Карагодина (1980); нано-, микро-, мезо-, макро-, мегациклиты Н.Б.Вассоевича (1976) и т.п.

Для характеристики элементарных литом, в том числе циклосом, опираются на четыре основных признака: размер, в общем случае оцениваемый как мощность (толщина); количество пород; порядок их следования; степень вложения циклом друг в друга, когда мелкие цикломы являются элементами более крупных, последние – элементами еще более крупных циклом.

За некоторыми цикломами закрепилось определенное название. И.Уэллер (1930) самые крупные цикломы назвал циклотемами. С.А.Афанасьев (1974) на порядок меньшие по мощности цикломы флиша назвал циклитами. Л.Н.Ботвинкина (1962) для элементарных сочетаний слойков, измеряемых миллиметрами и первыми сантиметрами использовала термин ритмит. Н.Б.Вассоевич сравнительно просто построенные циклические литомы, состоящие из трех-четырех слоев, называл циклитами, а сложные многопородные, включающие 10-12 видов слоев – циклотемами.

В циклитах можно выделить свойства, по которым определяются их границы. Например, Ю.Н. Карагодин берет в качестве такого свойства ГРАНУЛОМЕТРИЮ.

На рис.5 представлены схематизированные схемы типов изменения гранулометрии: прогрессивный, регрессивный, прогрессивно-регрессивный и регрессивно-прогрессивный. Прогрессивный циклит соответствует уменьшению размера зерен вверх по разрезу. Регрессивный циклит соответствует увеличению размера зерен вверх по разрезу.

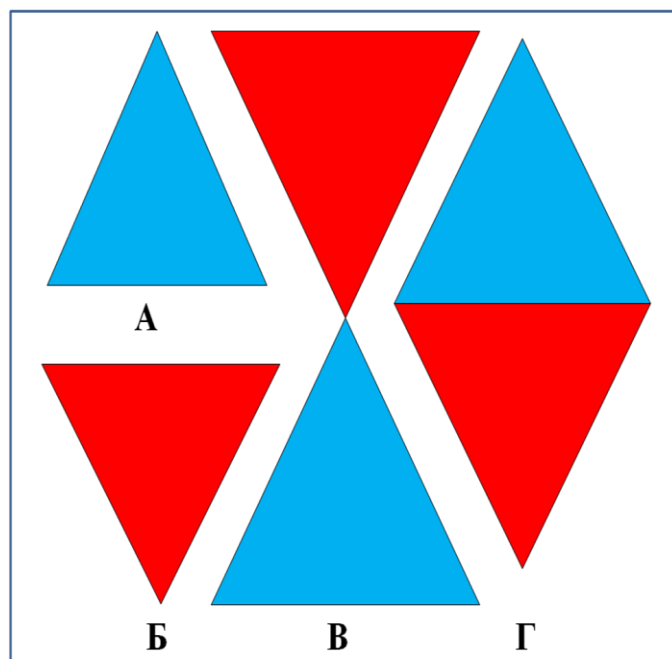


Рис.5. Схемы типов изменения гранулометрии: А - прогрессивный, Б - регрессивный, В - прогрессивно-регрессивный и Г - регрессивно-прогрессивный.

При определении границ циклитов наиболее распространенным является эмпирический морфологический метод проведения нижней границы по подошве конгломератов или грубых песчаников, если они есть в разрезе.

Другой подход – начинать циклиты с пластов угля, так как возможность их формирования определялась выравниванием и заболачиванием на обширных площадях (важный фациальный репер), и угли хорошо узнаются в разрезе.

Следующий подход – начинать с известняков.

В целом, можно согласиться с Ботвинкиной Л.Н., считавшей, что за начало цикла следует брать то, что удобно геологу. Чаще всего сама природа квантирует циклиты, разделяя их резкими границами или менее резкими границами, ограничивающими циклиты разного порядка.

На рис.6 показан пример циклической схемы для осадочного разреза по данным таблицы 4 и рис.3, 4.



Рис.6. Литолого-стратиграфическая колонка, палеогеографическая кривая, фациальная и циклическая интерпретация осадочного разреза по данным таблицы 3 и рис.3, 4.

Задание для самостоятельной работы.

Построить реконструкцию осадочных разрезов согласно примеру на рис.6 по данным разрезов из задания практической работы №1.

Эффективным способом определения циклического строения осадочных разрезов является применение кривых ГИС с седиментологическим содержанием - ГК и ПС, отражающих изменение гранулометрического состава пород.

На рис.7 показаны типы кривых ГК, по которым выделяются определенные циклические осадочные компоненты.

На рис.8 показаны примеры форм ГК и их интерпретации.

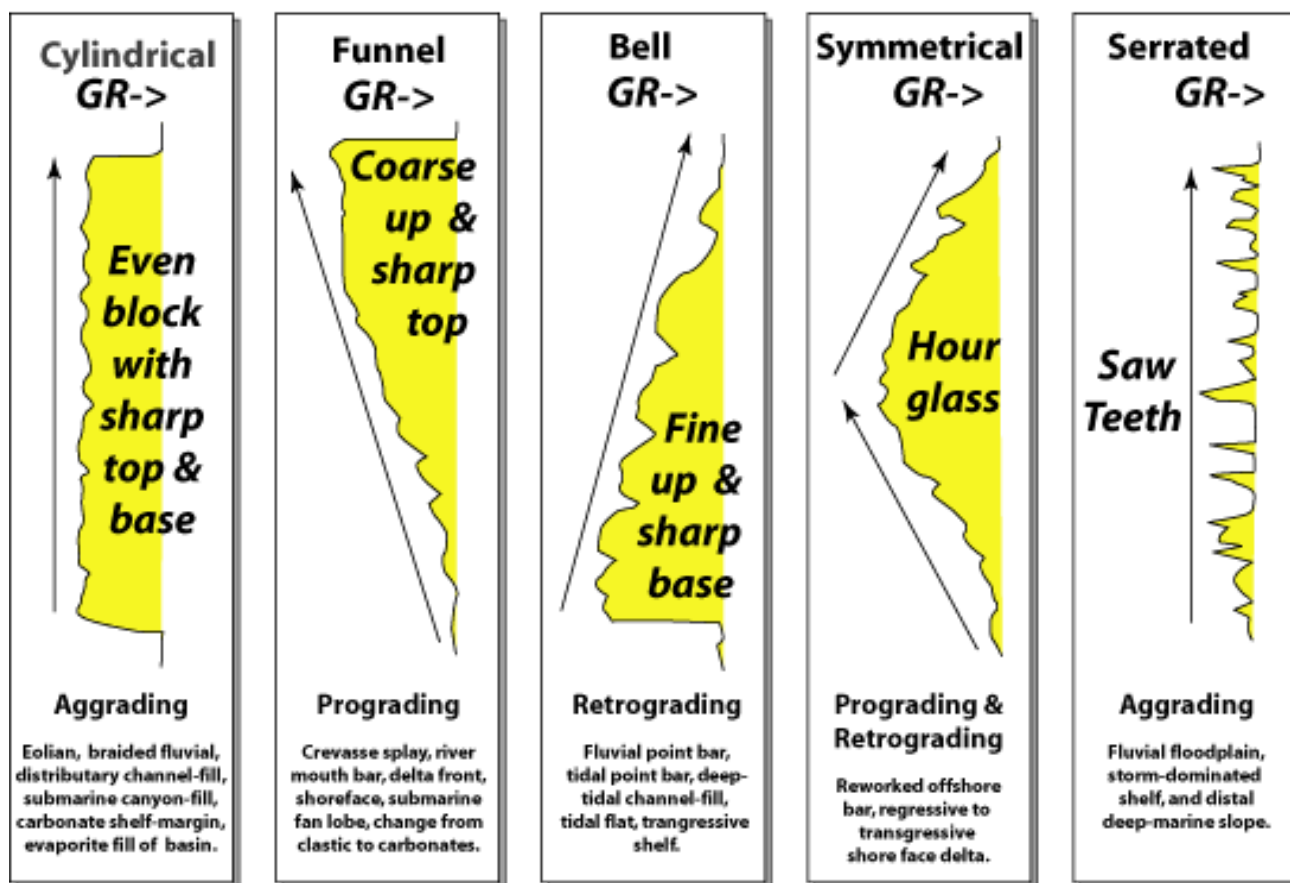
На рис.9 показан пример циклического структурирования осадочных комплексов на основе диаграмм ГИС в терминах секвенс-стратиграфии.

В общем, порядок выделения циклитов включает в себя следующие шаги:

1. Литологическое описание каждого пласта, слоя, слойка.
2. Описание границ между ними (резкие, постепенные, нерезкие и т.д.)

3. Выделение парагенезов слоев, то есть групп слоев, связанных друг с другом более тесно, чем со слоями других групп.
4. Сбор данных по различным свойствам: гранулометрии, карбонатности, глинистости, толщине, изотопному составу, аутигенным минералам, конкрециям, текстурам, окаменелостям.
5. Выявление циклограммы.
6. Генетическая интерпретация циклограммы, в том числе с помощью математических методов.

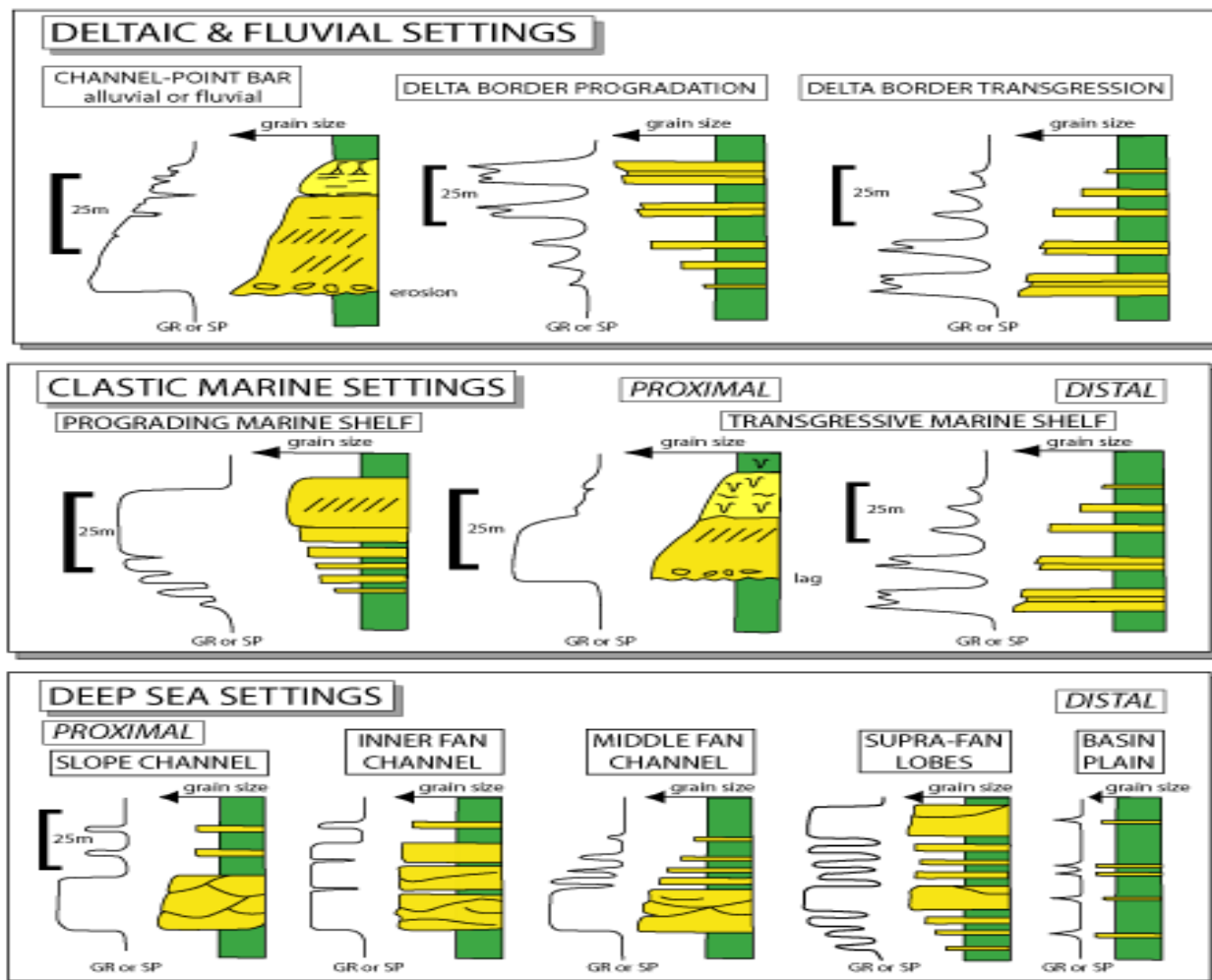
General Gamma Ray Response to Variations in Grain Size



C. G. St. C. Kendall 2003 (modified from Emery, 1996)

Рис.7. Формы кривых ГК и их седиментологическое содержание: aggrading (cylindrical (цилиндрическая) и serrated (изрезанная) формы - агграция (наращивание осадков); prograding (funnel (воронкообразная форма)) - програция (наступление суши на море) или рециклит; retrograding (bell (колоколоподобная форма)) - ретрограция (наступление моря на сушу) или проциклит; prograding&retrograding (symmetrical (симметричная форма))- програция+ретрограция - регрессивно-прогрессивный цикллит.

Gamma Ray Log Response & Depositional Setting



C. G. St. C. Kendall 2003 (modified from Malcolm Rider 1999)

Рис.8. Примеры форм ГК (ПС) и их интерпретации для обстановок терригенного осадконакопления: устьевых баров, морского шельфа, глубоководных морских участков.

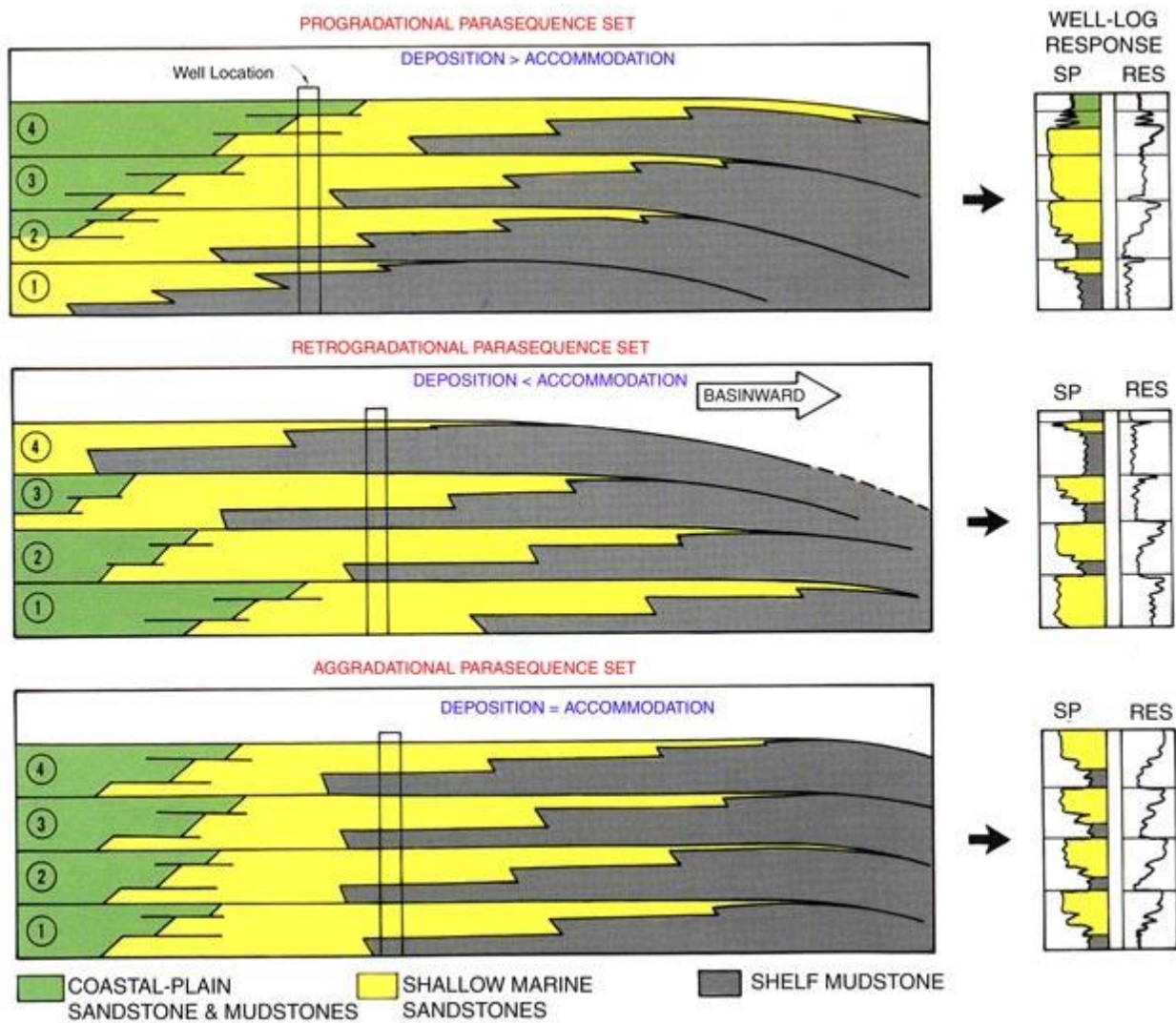


Рис.9. Циклическое структурирование осадочных комплексов в терминах секвенс-стратиграфии.

Задание для самостоятельной работы

Построить циклические диаграммы осадочных разрезов по каротажным данным (рис.10).

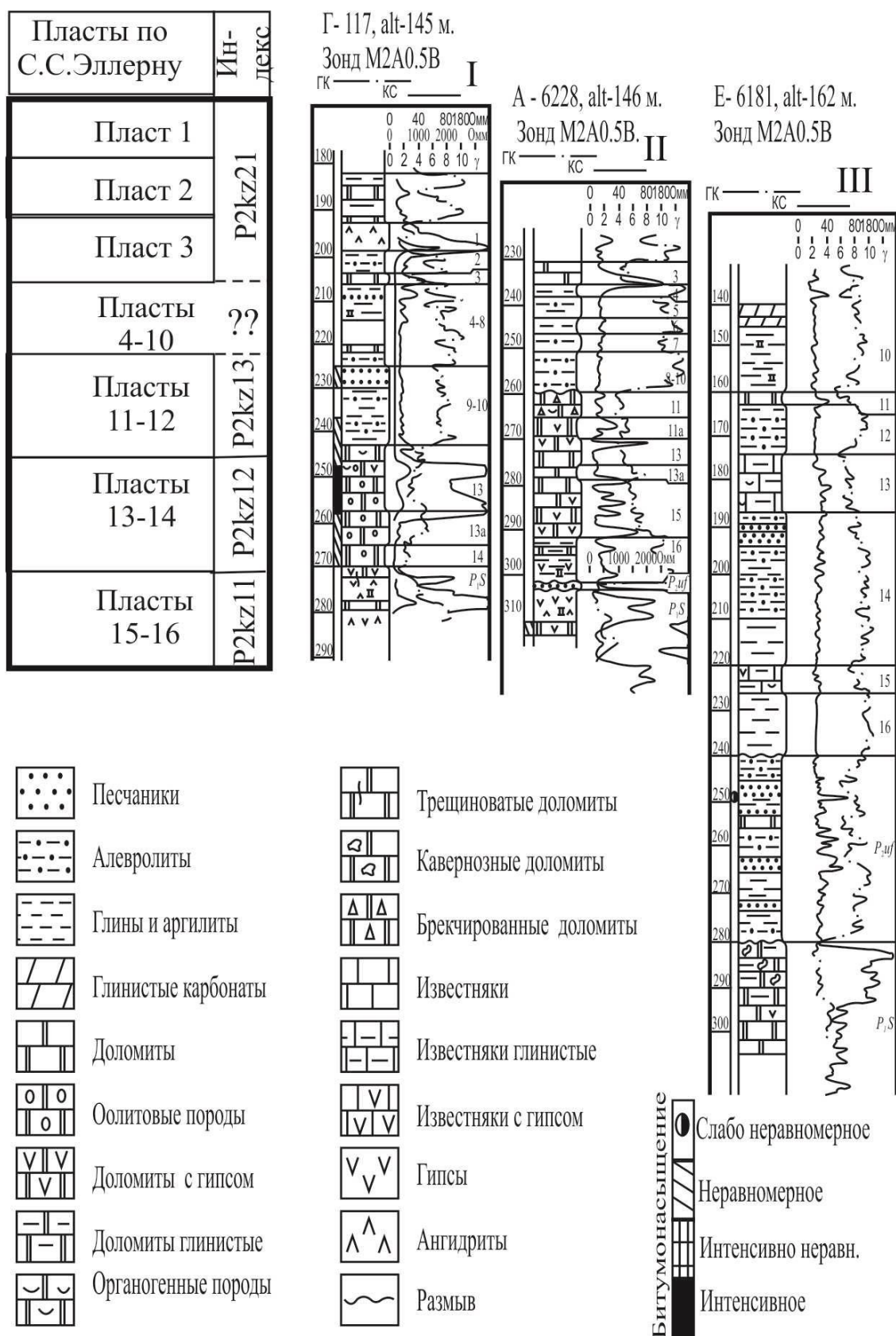


Рис. 10. Сопоставление разрезов уфимско-нижеказанского ЛСК, Мелекесская впадина (западный (I), центральный (II) и восточный (III) типы разрезов))

Практическая работа 4.

Секвенсы в сейсмической записи

Цель работы: распознавание секвенсов в сейсмической записи.

Исходные данные: сейсмический разрез.

Теоретическое обоснование:

Главной особенностью осадочных чехлов является слоистое строение, обусловленное громадной чередой природных событий. Свойство стратисферы записывать события является базовым в геологии. Это наглядно было показано еще Н.А. Головкинским (1869), А.А. Иностранцевым (1872) и позднее И. Барреллом (1917). Эти исследователи наметили иерархию природных событий, которая зафиксирована в разномасштабной цикличности осадочных толщ. В их иерархии в общем виде можно выделить 3 уровня: 1) часто чередующиеся природные явления; 2) колебания уровня моря; 3) крупномасштабные события, связанные с тектоническими и эвстатическими эпохами.

Короткопериодные, часто повторяющиеся события в каждый конкретный момент времени влияют на литодинамику области осадконакопления и определяют характер седиментации. Вещественным проявлением таких событий является элементарный цикл (циклит – по Ю.Н. Карогодину), микроритм – по Д.В. Наливкину (1956), многослой – по Н.Б. Вассоевичу (1950), слой – по А.М. Кузьмину (1950). *Короткопериодные природные события зафиксированы в геологическом разрезе элементарными циклами, а фазы их развития – элементами циклов (результатом дифференциации порционного поступления материала).* Элементарные циклы – это собственно седиментационные образования, это *циклы осаждения* и этим они принципиально отличаются от всех других звеньев иерархии циклических образований.

На примере элементарных циклов можно видеть, что резкие физические разделы свойственны только их границам. Они обусловлены дискретностью осадочного процесса. Фациальные (осадочно-породные) элементы циклов характеризуются постепенными переходами и не образуют физических границ

(имеются в виду только седиментационные границы, не рассматриваются поверхности диагенетических изменений, границы инородных тел и флюидов). Отсюда важный вывод - сейсмический метод отраженных волн может фиксировать только стратиграфические границы. Так как элементарные циклы отвечают одноактному природному событию, то соответствующие им акустические рефлекторы изохронны. Таким образом, многочисленные слабые отражения, насыщающие сейсмические разрезы и отвечающие либо границам элементарных циклов, либо суммарному акустическому эффекту от группы таких образований, - это изохронные геологические поверхности.

Следующим уровнем иерархии природных событий является изменение уровня моря. Это более крупномасштабное, более длиннопериодное природное событие, которое приводит к крупной цикличности осадочного чехла и образованию четко очерченных стратиграфических единиц (геологическая чечевица Н.А. Головкинского - рис. 11; секвенс П. Вейла - рис. 12).

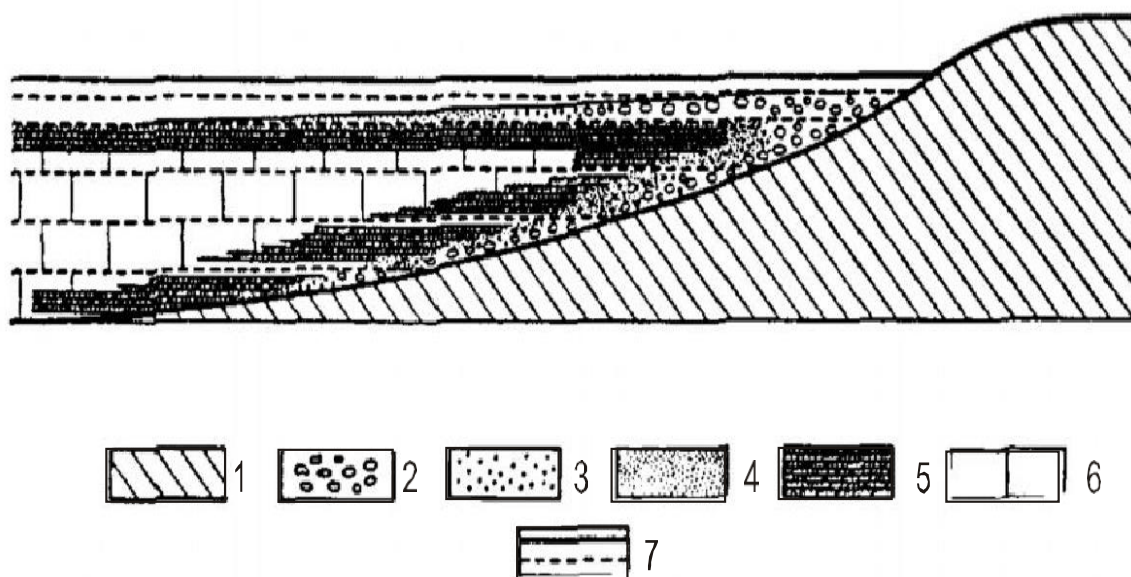


Рис. 11. Полный цикл колебаний относительного уровня моря:

1 – суша; 2 – конгломерат; 3 – песчаник; 4 – глина; 5 – мергель; 6 – известняк; 7 – уровень моря

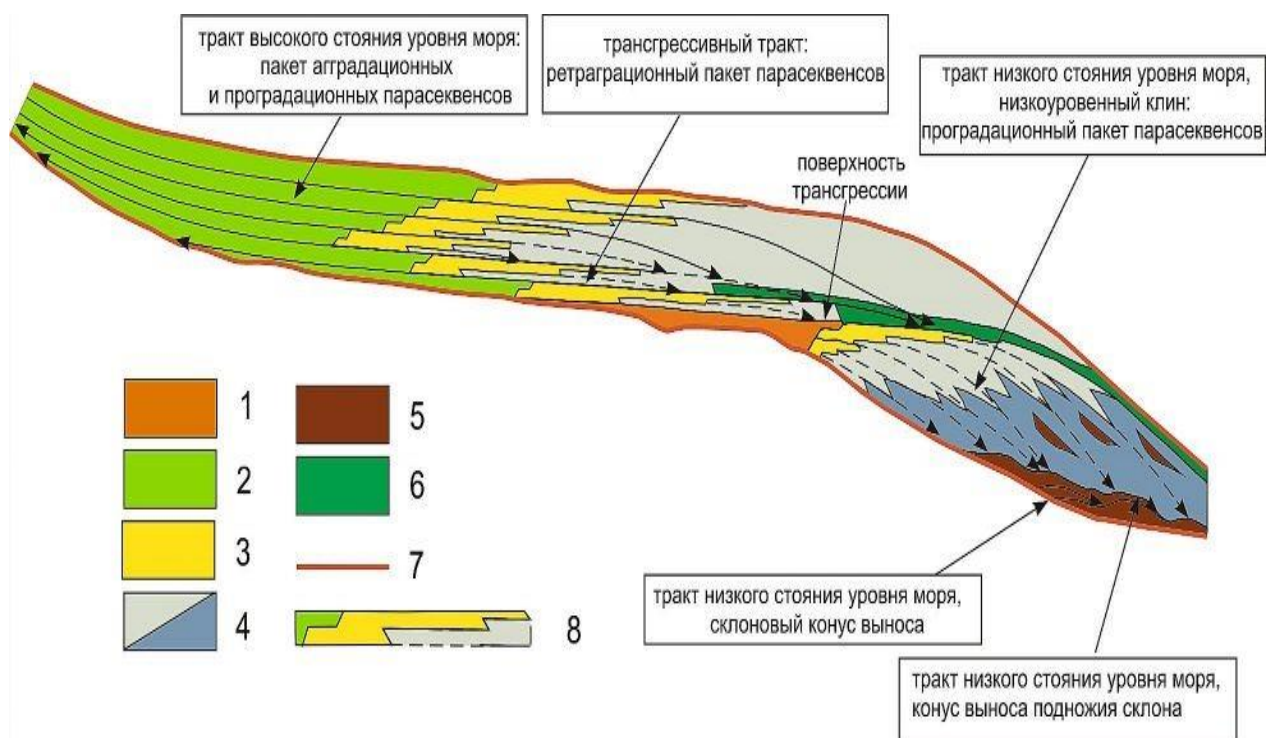


Рис. 12. Модель секвенса (цикла 3 порядка): 1 – речные и эстуариевые песчаники во врезках; 2 – песчаники и глины приморской низменности; 3 – прибрежно-морские песчаники; 4 – глины и тонкие слои песчанников шельфа и склона; 5 – морские конуса выноса и песчаники валов подводных русел; 6 – конденсированные отложения; 7 – границы секвенса; 8 – парасеквенсы

Важно подчеркнуть, что при анализе геологических объектов речь может идти главным образом об относительном изменении уровня моря. Этот параметр включает в себя эффекты тектонических, эвстатических колебаний и изменение объема поступающего материала. На это обратил внимание еще Н.А. Головкинский, который писал, что вывод о фациальной изменчивости отложений «не зависит от нашего воззрения на причины изменения относительного уровня моря и суши, то есть принимаем ли поднятия и опускания суши, или наступление моря, или выполнения бассейнов: он представляет неизбежное следствие твердо стоящего факта, что относительное положение морского уровня изменяется» (Головкинский, 1869, с. 393 – 394).

Процесс изменения уровня моря, как это впервые отметил А.А. Иностранцев (1872), происходит не непрерывно, а с паузами: слои образуются и фиксируются в разрезе между этими паузами и, являясь одновременными и

литологически неоднородными, как бы прислоняются к берегу. Такое взаимоотношение слоев, известное в сеймостратиграфии как прибрежное подошвенное налегание, наблюдается на многих разрезах. Величина горизонтальных или вертикальных осадочных приращений при прибрежном подошвенном налегании является основным инструментом определения амплитуды изменения относительного уровня моря, а обобщение таких данных по всему миру – основой составления кривой изменения уровня Мирового океана.

Следующий уровень геологических событий – крупная тектоническая и эвстатическая этапность региона. Сложная интерференция тектонических и эвстатических событий особенно характерна для активных континентальных окраин со складчатыми орогенами и разнообразием обстановок осадконакопления.

«Элементарный цикл» - это цикл осаждения; «секвенс» - это цикл заполнения седиментационного пространства; все другие более крупные подразделения – это циклы суммирования «секвенсов» по алгоритму глобальных крупномасштабных событий (космических, тектонических, эвстатических и др.).

Одним из ключевых в секвенс-стратиграфии является понятие *седиментационного пространства* – пространства между поверхностью грунта и уровнем моря. Секвенс является отражением изменения этого пространства, откликом на колебание уровня моря. Пространственно целостные секвенсы связаны, в основном, с циклами третьего порядка. Более крупные циклы представлены группами секвенсов, а самые мелкие (четвертого и пятого порядков) выделяются в качестве элементов секвенсов - парасеквенсов. Секвенсы состоят из главных частей - *трактов осадочных систем (системных трактов)*. Они определяются как ряды литофаций. В модели, в основном, рассматриваются следующие обстановки осадконакопления: приморская равнина, морское мелководье, шельф и склон, подводные конусы выноса, глубоководные конденсированные покровы. Системные тракты образуются

при различном характере седиментации, определяемом разной фазой колебания уровня моря относительно бровки шельфа. *Тракт низкого стояния* (ТНС) связан с седиментационными потоками подводных каньонов, активно действующими при снижении уровня моря ниже бровки шельфа. Он сложен, в основном, турбидитами проградационного седиментационного клина и подстилающих его конусов выноса.

Трансгрессивный тракт (ТТ) образуется при подъеме уровня моря над бровкой шельфа и седиментационно-береговым перегибом, примерно совпадающим с передовым дельтовым баром. Он представлен ретроградационным пакетом парасеквенсов, характеризующим трансгрессию на осушенный шельф и приморскую низменность. В зашельфовой области вследствие дефицита осадков образуется глинистый конденсированный разрез.

Тракт высокого стояния (ТВС) начинается обычно агградационным пакетом парасеквенсов, который по мере снижения темпов подъема уровня моря и его стабилизации сменяется серией проградационных клиноформ. Этот седиментационный клин высокого стояния уровня моря в глубоководной части бассейна превращается в предельно тонкий глинистый покров, наращивающий конденсированный разрез трансгрессивного тракта.

Подошва ТВС (кровля ТТ) является *поверхностью (уровнем) максимального затопления территории*. Осадки максимального затопления шельфа и приморской низменности (ингрессии) и коррелятивный им глубоководный конденсированный покров служат маркирующими горизонтами и изохронными реперами при сопоставлении разрезов. Надежность их выделения и присутствие во всех типах секвенсов послужили основанием для проведения по этим поверхностям границ секвенсов в одной из модификаций секвенс- стратиграфии – генетической стратиграфии.

Прослеживание секвенсов по данным сейсморазведки, керна и каротажа скважин, а также по наблюдениям в обнажениях позволяет создать детальную хроностратиграфическую схему, определить последовательную смену латеральных рядов фаций и воссоздать эволюцию осадочного бассейна или его

крупных частей с достоверностью, превосходящей возможности других методов внутрибассейновой корреляции.

Секвенс-стратиграфические исследования проводятся во всех нефтегазоносных бассейнах. Они охватили отложения от венда до кайнозоя.

В России одними из наиболее древних детально изученных с позиций секвенс-стратиграфии являются ордовикские отложения Балтийского региона. Здесь они характеризуют выполнение тектонически стабильного эпиконтинентального бассейна. В существенно карбонатной толще общей мощностью до 200 м, охватывающей все подразделения ордовика, по естественным и скважинным разрезам выделено и прослежено 10 секвенсов мощностью до 10-30 м и продолжительностью от 1 до 10 млн. лет. Границы секвенсов определены размывами, связанными с осушением значительных площадей приливно-отливной равнины. Верхний секвенс, залегающий под крупным несогласием, маркирующим границу ордовика и силура, сильно эродирован. В остальных секвенсах выделены системные тракты.

Тракты низкого стояния уровня моря часто определены предположительно и распространены спорадически. Обычно они заполняют эрозионные неровности и характеризуются значительной примесью глинистого и обломочного материала с глауконитом; в нижнем секвенсе – это кварцевые пески штормового и приливно-отливного генезиса. Тракты высокого стояния уровня моря представлены, в основном, биокластическими известняками, мергелями и реже доломитами. Для известняков характерны водорослевые маты, органогенные постройки и рифы. Проградация отложений и регрессии подчеркиваются появлением оолитовых известняков. Во всех секвенсах хорошо выделяются трансгрессивные тракты, представленные обычно глинистыми известняками и черносланцевыми образованиями.

Кривая колебаний уровня моря, составленная на основе изучения отложений Балтийского региона, хорошо согласуется с наиболее значительными трансгрессиями и регрессиями во многих регионах мира. Она

может явиться основой реконструкции колебаний уровня Мирового океана в ордовикский период.

Значительный интерес представляют литолого-фациальные исследования франско-турнейских отложений Тимано-Печорской провинции, по которым ещё в шестидесятые годы прошедшего века были разработаны модели бокового наращивания палеодепрессий. Общая архитектура франско-турнейского комплекса обусловлена последовательным заполнением секвенсами некомпенсированных впадин с глубинами моря 500-700 м, наращиванием карбонатной платформы с перемещением барьерных рифов и карбонатных уступов. Продолжительность формирования секвенсов составляет 4-6 млн. лет, а их мощности изменяются от первых десятков метров в конденсированных депрессионных разрезах до 500-700 м в рифтогенных и склоновых фациях.

В развитии полного секвенса выделяется несколько стадий: трансгрессивная, максимального затопления территории, конец подъема и стабилизации уровня моря, ранняя (осушение верхней части рифов) и поздняя низкого стояния уровня моря. Отложения первой (трансгрессивной) стадии мощностью в первые десятки метров на шельфе залегают с карманообразной поверхностью размыва. К бровке шельфа они образуют фациальный ряд: мелководные терригенные осадки – биоспариты и микриты – ооидные известняки; в глубоководной зоне накапливались доманикоиды – кремнистые карбонаты и темноцветные аргиллиты с горючими сланцами. Стадия максимального затопления представлена на шельфе маркирующими пластами аргиллитов мощностью от единиц до первых десятков метров; в депрессионной зоне – доманикоидами с повышенной кремнистостью. Последующие две стадии высокого стояния характеризуют основные периоды формирования рифов. Рифы отчленяли шельфовую зону от глубоководья с образованием лагунных глинисто-сульфатно-доломитовых отложений. В условиях подводного размыва органогенных построек формировались пелоидные известняки с био-литокластитами. Они выстилают склон шельфа,

образуя фронтальный рифовый шлейф, сменяющийся в депрессионной зоне конденсированным покровом доманикоидов.

Тенденция изменения относительного уровня моря объясняется, в основном, темпом прогибания территории, а её резкие изменения – эвстатическими колебаниями.

Классическим примером секвенсного строения отложений являются волжско-готеривские терригенные отложения Западной Сибири. Они характеризуются отчетливым клиноформным строением, связанным с латеральным заполнением некомпенсированной депрессии. Глубина моря в центральной части бассейна оценивается в 500 м, на отдельных участках в 500-1000 м. Основой выделения и картирования клиноформ являются сейсмические данные, хотя «косослоистая» модель неокомских отложений впервые была разработана при скважинной корреляции отложений. Многолетними исследованиями большого коллектива геологов и геофизиков в волжско-барремских отложениях охарактеризовано до 20 клиноформ. Клиноформам даны собственные названия по наименованиям выдержанных глинистых пачек, залегающих в их основании и отвечающим максимальному затоплению территории. Ширина неокомских клиноформ колеблется от 30 до 150 км при субмеридиональной протяженности до 1000 км и более.

Все исследователи едины во мнении, что формирование неокомских клиноформ связано с циклами изменения относительного уровня моря и относят их обычно к циклитам (клиноциклитам) регионального и субрегионального ранга. Крупные клиноформные подразделения, ограниченные протяженными трансгрессивными поверхностями, связываются с эвстатическими событиями.

Время формирования западно-сибирских неокомских секвенсов оценивается в 1-2 млн. лет. Волжско-неокомские отложения Западной Сибири являются ярким примером проградационного заполнения впадины, где секвенс-страиграфический анализ высоко результативен для определения седиментационной структуры бассейнового выполнения.

Пример выявления типового секвенса в сейсмической записи плиоценовых отложений шельфа Сахалина показан на рис.13. Мощность миоцен-плиоценовых секвенсов изменяется в широких пределах и достигает сотен метров, длительность их формирования – до 2 млн. лет.

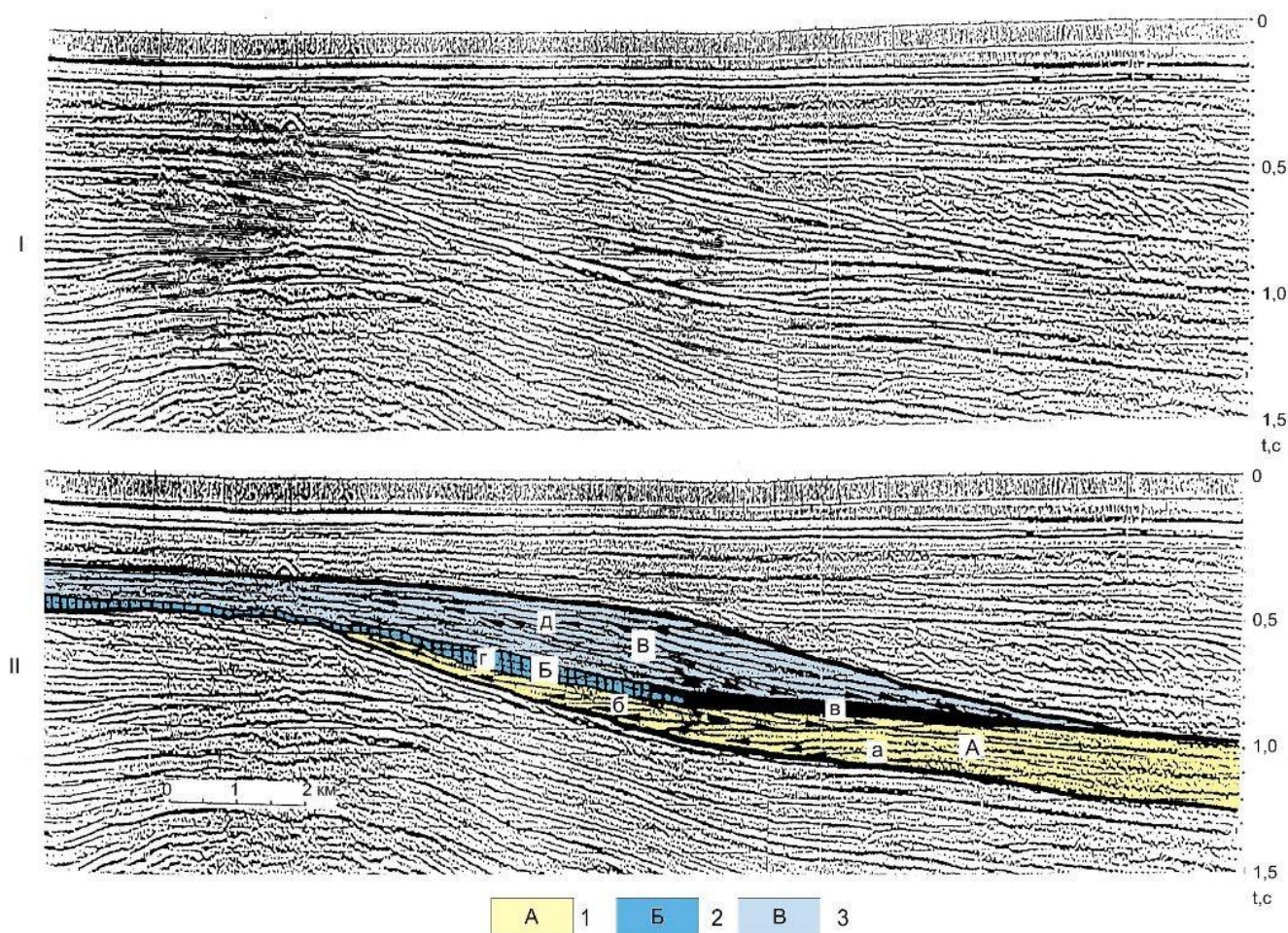


Рис. 13. Секвенс (цикл 3 порядка). Плиоценовые отложения шельфа Северного Сахалина

I – фрагмент временного сейсмического разреза, II- его интерпретация. Тракты осадочных систем: А – низкого стояния уровня моря (ТНС), Б – трансгрессивный (ТТ), В – высокого стояния (ТВС), а- осадки подводного конуса выноса, б – проградационная серия парасеквенсов ТНС, в – конденсированный покров, г – ретраградационная серия парасеквенсов и уровень максимального затопления территории, д – проградационная серия парасеквенсов ТВС.

Задание для самостоятельной работы

Определить тракты в составе секвенса на рис.14: расшифровать обозначения 1, 2 и 3 и сравнить строение секвенса с теоретической моделью (рис.12).

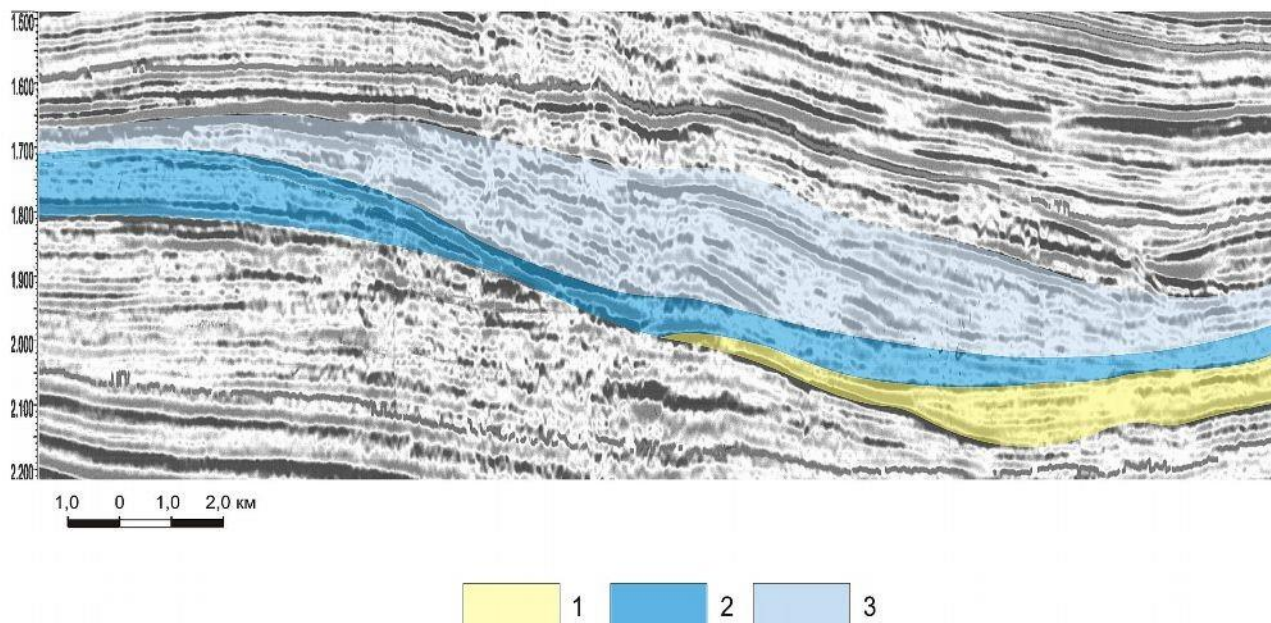


Рис. 14. Секвенс (цикл 3 порядка). Фрагмент временного сейсмического разреза (миоценовые отложения шельфа Охотского моря): 1 – ТНС, 2 – ТТ, 3 – ТВС.

Список рекомендуемой литературы

Виноходова Г.В., Эллерн С.С. Строение нижней части казанских отложений Южной Татарии и прилегающих областей в связи с оценкой их битумоносности // Геология и геохимия нефтеносных отложений. - Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1987, С. 96-113.

Головкинский Н.А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна // Материалы для геологии России. Т. 1. - СПб., 1869. – С. 273 – 415.

Маргулис Л.С. Секвенс-стратиграфия в изучении строения осадочных чехлов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2008 (3). - 26 с.

Ноинский М.Э. Некоторые данные относительно строения и фациального характера казанского яруса в Приказанском районе // Известия геологического комитета, Т.43, N6, 1924. - С.565-622.

Нургалиева Н.Г. Пермские осадочные разрезы востока Русской плиты. Цикличность и фрактальные образы. – LAP LAMBERT Academic Publishing&Co.KG, Saarbrücken, ISBN: 978-3-8433-0100-8, 2010. – 210 с.

Нургалиева Н.Г. Интерпретация материалов электрометрии скважин и радиоактивного каротажа: учебно-методическое пособие - Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2016. - 41 с.

Нургалиева Н.Г. Основы формационного анализа нефтегазоносных толщ: учебное пособие - Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2016. - 150 с.

Сайт по секвенс-стратиграфии - <http://sepmtrata.org>